

# **Medición cuantitativa y cualitativa del Balance y equilibrio a través del análisis de video en sujetos que presentan diferente nivel de actividad física.**

**AUTORES**

*Andrea Alvarez*

*Jhon Padua*

**INVESTIGACIÓN DIRIGIDA-TRABAJO DE GRADO**

**ASESORA**

Luisa Fernanda Cárdenas

*Ft, Ms.c. Ingeniería Biomédica*

**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA DEL ÁREA ANDINA**

**FACULTAD CIENCIAS DE LA SALUD**

**PROGRAMA PROFESIONAL ENTRENAMIENTO DEPORTIVO**

Bogotá-Colombia

2020

## ***Agradecimientos***

En primer lugar queremos agradecer a nuestra tutora Luisa Fernanda Cardenas Martínez, quien con sus conocimientos y apoyo nos guió a través de cada una de las etapas de este proyecto para alcanzar los resultados que se buscaban.

También queremos agradecer a todos nuestros compañeros y de manera especial a nuestras familias, por apoyarnos siempre.

Muchas gracias a todos.

## **Resumen**

La evaluación de la postura , el balance y el equilibrio se ha llevado a cabo por medio de diversas herramientas, unas disponibles en laboratorios clínicos y deportivos, de las cuales solo algunas personas pueden tener acceso, por otro lado existen algunas otras mas accesibles basadas en la observación , estas últimas con la desventaja de ser subjetivas. Por lo anterior el objetivo de este proyecto es cuantificar el desempeño de personas que presentan diferente nivel de actividad física en pruebas de balance y equilibrio por medio de herramientas de video y análisis computarizado de movimiento, para lo cual se evaluaron 15 mujeres y 10 hombres, con edades entre los 15 a los 60 años, por medio de la prueba de equilibrio sobre una pierna o su nombre en ingles Single Leg Stance , para la recolección de los datos se ubicó un marcador sobre el cuerpo del esternón , posterior esta información fue procesada para su posterior análisis, donde se logró evidenciar que las personas con un nivel de actividad física vigorosa poseen una mayor estabilidad corporal en comparación con las personas que tienen un nivel de actividad física leve o moderado. Posterior a la culminación de este proyecto se evidencia la necesidad de la creación y potencialización de herramientas de fácil acceso y alta confiabilidad para el analisis del equilibrio.

## ***Índice***

<b>1 Agradecimientos</b>	<b>1</b>
<b>2 Resumen</b>	<b>2</b>
<b>3 Planteamiento del Problema</b>	<b>5</b>
<b>4 Pregunta de Investigación</b>	<b>6</b>
<b>5 Justificación</b>	<b>7</b>
<b>6 Objetivos</b>	<b>9</b>
6.1 Objetivo General . . . . .	9
6.2 Objetivos Específicos . . . . .	9
<b>7 Marco Teórico</b>	<b>10</b>
7.1 Importancia Balance y equilibrio . . . . .	10
7.2 Evaluación del balance y el equilibrio . . . . .	11
7.2.1 Mediciones en Laboratorios . . . . .	12
7.2.2 Mediciones por Pruebas físicas . . . . .	16
7.3 Identificación de los niveles de actividad física . . . . .	19
<b>8 Metodología</b>	<b>20</b>
8.1 Tipo y Diseño de la investigación . . . . .	20
8.2 Proceso de revisión bibliográfica . . . . .	20
8.3 Diseño de la propuesta de evaluación . . . . .	20
8.3.1 Test de Evaluación: One Leg Balance Test . . . . .	20
8.3.2 Proceso de Captura de Videos . . . . .	21
8.3.3 Procesamiento de los datos . . . . .	22
8.4 Población y Muestra . . . . .	25

8.4.1	Caracterización de la muestra . . . . .	25
<b>9</b>	<b>Resultados</b>	<b>27</b>
9.1	Resultados de evaluación espacial del balance . . . . .	27
9.1.1	Miembro inferior derecho . . . . .	27
9.1.2	Miembro inferior izquierdo . . . . .	27
9.1.3	Análisis numérico espacial . . . . .	28
9.2	Resultados de evaluación temporal del balance . . . . .	30
9.2.1	Miembro inferior derecho . . . . .	30
9.2.2	Miembro inferior izquierdo . . . . .	30
9.3	Análisis en el dominio del tiempo y la frecuencia . . . . .	31
9.3.1	Miembro inferior izquierdo . . . . .	32
<b>10</b>	<b>Discusión</b>	<b>35</b>
<b>11</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>37</b>
<b>12</b>	<b>Bibliografía</b>	<b>38</b>
<b>13</b>	<b>Anexos</b>	<b>42</b>
13.1	Anexo1. Índice de Kappa . . . . .	42
13.2	Anexo 2. Consentimiento Informado . . . . .	43
13.3	Anexo 3. IPAQ, Versión Corta . . . . .	44

## ***Planteamiento del Problema***

La evaluación convencional del balance y el equilibrio se ejecuta por medio de test físicos, que son fáciles de implementar, sin embargo, la información obtenida solamente está a expensas de lo que evaluador alcanza a observar, lo que lleva a una alta subjetividad en los resultados de la prueba, reflejando en algunos estudios un Índice de Kappa <sup>1</sup> de 0,22 al realizar Retests (Seguimientos o pruebas adicionales en una persona previamente evaluada) (Cerdeira et al; 2008). Es por ello que se desea aportar una herramienta que brinde confiabilidad, accesibilidad y mayor reproducibilidad a la hora de evaluar el balance y el equilibrio.

---

<sup>1</sup>Refleja la concordancia para la evaluación inter e intra observador, puede tomar valores entre -1 y +1. Mientras más cercano a +1, mayor es el grado de concordancia inter-observador, por el contrario, mientras más cercano a -1, mayor es el grado de discordancia (Ver anexo 1).

### ***Pregunta de Investigación***

¿ Cómo cuantificar el desempeño en pruebas de balance y equilibrio por medio de herramientas de video y análisis computarizado de movimiento ?

## ***Justificación***

El Balance y el equilibrio son cualidades físicas esenciales en todas las etapas del proceso de vida y de vital importancia en el desarrollo de distintas actividades, el proceso que se desencadena en el momento en que el cuerpo pierde su estabilidad por acciones que lo perturban, requiere de una compleja interacción y sincronización del sistema nervioso y el sistema musculoesquelético. Desde la infancia dicha complejidad se ve reflejada en el tiempo que tarda alcanzar un dominio adecuado del control de balance y equilibrio en bípedo, el cual es de alrededor de dos años que habitualmente comprende el periodo entre los cuatro a los seis años de vida ( Plandowska,2007).

Desde que se adquiere la posición bípeda la gran mayoría de actividades de la vida diaria se va a realizar en esta posición, por tanto, los seres humanos se ven expuestos a el constante uso del equilibrio para realizar las actividades de forma más eficiente. Esta cualidad, como la mayoría de las capacidades o habilidades motoras del ser humano presentan un deterioro con el paso de los años( Ferlinc,2019, )evidenciado una disminución en las funciones de la sensibilidad y la posición del cuerpo, que se conoce también como la propiocepción, la cual, es clave para el desarrollo de los movimientos que determinan el equilibrio o balance, constituyendo un factor importante en el aumento de riesgo de caídas en el adulto mayor.De acuerdo a estadísticas mencionadas por *Bauer et al., (2010)* las caídas se han convertido en un problema de salud a nivel mundial , en donde el 30% de estas tienen consecuencias graves que culminan en lesiones que requieren atención médica; además estas lesiones se convierten en causa importante de mortalidad y morbilidad (Laurence et al.;2002).

En el ámbito deportivo el equilibrio es un indicador de rendimiento y un predictor de riesgo de lesión, como se evidencia en diferentes artículos(Han et al.;2015) ,esto se puede ver reflejado en la propiocepción del complejo articular del tobillo y el pie, en donde, en la mayoría de los deportes, esta es la la única parte del cuerpo que tienen contacto directo con el suelo; por lo anterior, este complejo es el encargado de proporcionar la información necesaria para ajustar



la postura tanto del tren inferior como del superior, todo esto con el fin de ejecutar con éxito las acciones motoras complejas que se evidencian a nivel deportivo.

Existen distintas herramientas que permiten el análisis del equilibrio de manera objetiva y cuantificable, una de estas es la posturografía, por medio de este sistema computarizado se puede valorar la estabilidad estática y dinámica de un sujeto, además arroja resultados relacionados con las habilidades usadas para el control postural (información vestibular, visual y sensorial), esto se logra a través de una retroalimentación visual en pruebas del control voluntario de desplazamientos del centro de gravedad (Nashne et al.; 1990). De acuerdo a lo hallado por *Porto et al., 2020* basados en diferentes estudios realizados con anterioridad, la posturografía permite la evaluación de los ajustes que realiza el cuerpo cuando pierde la estabilidad, lo que a su vez arroja resultados que pueden ser indicadores de condiciones relacionadas con distintas funciones motoras y sensoriales del organismo; a nivel clínico la posturografía facilita información de los cambios que se pueden presentar en el control de la postura y el riesgo de sufrir una caída, que se desencadenan a causa de la senectud; esta herramienta de evaluación del balance también permite comprender el impacto de ciertas enfermedades de los sistemas del organismo ( nervioso, musculoesquelético ) sobre la capacidad de equilibrio.

En la práctica diaria, un profesional del deporte necesita herramientas prácticas y accesibles con las cuales pueda obtener datos objetivos y reproducibles que le permitan plantear objetivos, planes de entrenamiento y seguimientos de forma confiable. Una prueba que se reconoce por su amplio uso y facilidad en la aplicación es la prueba de equilibrio unipodal, esta es de las más sencillas y permite medir el equilibrio estático en cualquier entorno con un mínimo de equipos o formación; los resultados que arroja esta prueba se pueden asociar con afecciones en el sistema nervioso y por ende con el riesgo a sufrir caídas (Springer et al.; 2007).

Dentro de las ventajas que tiene la evaluación utilizando equipos tecnológicos, se puede mencionar la alta fiabilidad en los resultados, sin embargo, el acceso cotidiano a estos equipos constituye una barrera para ser usado en procesos que no sean de élite, por lo anterior, el acceso a tecnología de bajo costo , se puede convertir en una herramienta para los entrenadores deportivos , que pueden ayudar a disminuir la subjetividad en los procesos de evaluación.

## ***Objetivos***

### **6.1 Objetivo General**

Cuantificar el desempeño de personas que presentan diferente nivel de actividad física en pruebas de balance y equilibrio por medio de herramientas de video y análisis computarizado de movimiento

### **6.2 Objetivos Específicos**

1. Identificar las metodologías y accesibilidad a las mismas, que se usan en la medición del balance y el equilibrio, mediante una revisión bibliográfica.
2. Proponer un protocolo de evaluación objetiva y accesible para cuantificar el balance y el equilibrio.
3. Aplicar el protocolo propuesto en un grupo de personas con diferente nivel de actividad física.
4. Describir y analizar los resultados cuantitativos y cualitativos del balance y el equilibrio, según niveles de actividad física.

## **Marco Teórico**

### **7.1 Importancia Balance y equilibrio**

El Balance y el equilibrio son cualidades físicas esenciales en todas las etapas del proceso de vida y de vital importancia en el desarrollo de distintas actividades de la cotidianidad por ende es importante conocer cómo se desencadena este proceso, ¿cuál es su importancia en diferentes ámbitos de la vida del ser humano? y ¿cómo llevar a cabo su adecuada evaluación?.

En las primeras etapas de la vida de un ser humano el equilibrio es primordial para una adecuada formación y desarrollo de todas las habilidades motoras, según *García, F., et al.en 2014*, la acción de mantener el equilibrio en posición bípeda es la base del desarrollo motor del niño, esto se adquiere a lo largo de su crecimiento en donde se van adquiriendo día tras día nuevas experiencias que contribuyen al desarrollo de habilidades motoras. Alcanzar un dominio adecuado del control de balance y equilibrio en bípedo tarda alrededor de dos años que habitualmente comprende el periodo entre los cuatro a los seis años de vida, luego de esta etapa se considera que un niño puede contar con las herramientas suficientes para afrontar acciones motoras más complejas o especializadas en bípedo (Plandowska,2019).

La evaluación del control postural en la infancia permite obtener mayor comprensión acerca del desarrollo y los cambios de distintas características que permiten el pulimiento del control motor , entre ellas el equilibrio , además, por medio de su adecuado análisis se puede monitorear cambios en el control de la postura y por medio de los resultados hallados generar estrategias para minimizar las fluctuaciones que causan la pérdida del equilibrio(Schmid et al.;2005). En el control del equilibrio, como se mencionó anteriormente se ven involucrados el sistema nervioso y el sistema musculoesquelético, este proceso se desencadena por medio de la integración de la información visual , vestibular y propioceptiva; la cual genera una respuesta motora que permiten la activación de los músculos necesarios para ejecutar el gesto adecuado para controlar la posición del cuerpo (Han et al .;2015). Para lograr el adecuado control de la

postura es importante la información que se obtiene por el canal por donde ingresa la información visual, en el deporte este se ocupa de otros componentes de la actividad deportiva, como los rivales, el elemento(balón, raqueta) y las situaciones de juego o competencia que se presentan, por ende, el organismo debe acudir a otros canales que le permitan optimizar el control del equilibrio (Han et al .;2015). De acuerdo a lo anterior, diversos estudios(Hrysomalli et al.;2012). presentan ejemplos específicos de la capacidad de equilibrio en el deporte; en el caso de los gimnastas arrojaron los mejores resultados , teniendo en cuenta que en este deporte esta es una de las capacidades fundamentales para su óptimo desarrollo; seguido a estos deportistas se encuentran los jugadores de fútbol, nadadores y basquetbolistas. La relación entre el control de la postura y el nivel de rendimiento de un deportista se evidencia por la alta demanda de canales de respuesta que se solicitan en el momento de la ejecución de cierto gesto deportivo, para comprender esto, un ejemplo práctico se evidencia en los deportes de equipo, en donde el deportista debe concentrarse no solamente en la ejecución propia de una acción técnica ,si no, además deben estar preparados para reaccionar frente a perturbaciones que se puedan presentar y que atenten contra la estabilidad corporal , poniendo en riesgo la óptima ejecución de la técnica y aún peor la integridad física que da como resultado una lesión. Las pruebas evalúan el equilibrio a nivel deportivo, se aplican generalmente a dos ámbitos, el primero enfocado en la prevención de lesiones y la segunda en cuanto al retorno a la práctica deportiva luego de sufrir una lesión(Verschueren et al.;2019).

## **7.2 Evaluación del balance y el equilibrio**

Actualmente existen diversas herramientas para la evaluación de los componentes de la postura y el balance del ser humano, entre ellas podemos encontrar varias alternativas que difieren en el nivel de complejidad según el uso o no de implementos tecnológicos,esto a su vez arroja una variedad en la presentación de los resultados y la fiabilidad de los mismos. Dentro de las estrategias de evaluación más importantes podemos clasificarlas en las que se llevan a cabo en laboratorios con intervenciones de aparatos tecnologicos y las pruebas fisicas que se pueden realizar en entornos mas convencionales donde no se requieren de materiales o elementos de laboratorio, entre los mas destacados y reconocidos se encuentra:

### 7.2.1 Mediciones en Laboratorios

Diferentes estudios que abarcan la evaluación de la postura y el balance en los seres humanos, se han llevado a cabo en laboratorios de biomecánica y algunos mas especializados específicos para lesiones músculo esqueléticas , en estos ámbitos investigativos se logra evaluar la estabilidad postural mediante diversas herramientas arrojando determinados resultados de acuerdo a la funcionalidad de cada una de las mismas.

#### Sensores de Inercia

Cuando las evaluaciones se llevan cabo usando sensores inerciales ,los datos que se logran recopilar son acerca de la aceleración y los angulos de rotación del sujeto durante la ejecución de la prueba de equilibrio, esto se puede obtener mediante la incorporación de herramientas como acelerómetros, giroscopios y magnetómetros (Lee et al.; 2018).



Figure 7.1: Imagen Sensores Inerciales

#### Placas de fuerza

Otra herramienta útil usada en la medición de la postura, son las placas de fuerza, en el estudio llevado a cabo por *Cobb et al., 2014* se evaluó la postura del pie y el equilibrio, por medio de la posición estática sobre una sola pierna (pierna dominante), con ojos cerrados, los brazos cruzados sobre el pecho. Se llevo a cabo durante 10 segundos por tres intentos, el evaluado debía permanecer en esta posición el mayor tiempo que les fuese posible; la evaluación por medio de las placas de fuerza permiten recolectar datos acerca del posicionamiento y velocidad del centro de presión (COP) y la estimación del tiempo que la persona tiene para hacer ajustes posturales antes de perder la estabilidad.

Las herramientas mencionadas anteriormente han sido evaluadas simultaneamente por *Lee y Sun, 2018* en donde se pretendía corroborar los resultados arrojados por cada una, para esta oportunidad los sujetos realizaron 4 posiciones diferentes para la evaluación con el fin de analizar la variabilidad de los resultados, las pruebas para evaluar el equilibrio estático se realizaron con ojos abiertos y cerrados , sobre ambos pies y sobre una sola extremidad, los resultados que se obtuvieron en la placa de fuerza indicaron que los evaluados son mas estables sobre ambas extremidades con los ojos abiertos y con los sensores inerciales se halló mayor estabilidad en la prueba con ojos cerrados sobre ambos pies.



Figure 7.2: Imagen Placas de Fuerza

### **Estabilometría**

Esta herramienta permite analizar de manera cuantitativa el control postural y su relación con la estabilidad en posición de bípedo, se basan en la posición del centro de gravedad de la persona determinado por la distribución de presiones plantares, esto se logra a través de una plataforma de sensores de presión, en donde se registran las desviaciones en el CP (Centro de Presión), posterior a su ejecución se puede reconocer que entre más alineado el cuerpo, menos gasto de energía requiere para mantenerse en equilibrio y que entre menores las oscilaciones del CP mejor es la ejecución del control postural (Petrocci, 2011).



Figure 7.3: Imagen Plataforma de Estabilometría.

### **Plataformas Baropodométricas**

Estas plataformas analizan la presión plantar representada en la magnitud y distribución de la fuerza que se aplica a la superficie plantar, se lleva a cabo en posición de bipedo estático (Ver imagen 7.4) o dinámico (marcha)(Ver imagen 7.5), los resultados arrojados por estas plataformas permiten determinar afectaciones posturales o patologías propias de la zona plantar de los pies(Rey,2018).

### **Sistemas ópticos de captura movimiento**

Los sistemas para la captura de movimiento de estos sistemas son aquellas técnicas de grabación de movimiento del cuerpo humano, que capturan datos de espacio y tiempo los cuales son representados digitalmente, estos sistemas se componen por un hardware especial y software de procesamiento de datos.



Figure 7.4: Imagen Plataforma de Estabilometría Portatil



Figure 7.5: Plataforma Baropodométricas

Los sistemas ópticos de captura movimiento usan diferentes sensores como cámaras 2D/3D para detección óptica (*Ver figura 7.6*), sensores magnéticos con imanes permanentes y receptores de bobina para registrar cambios en el campo magnético, esqueletos mecánicos para rastreo directo de ángulos de articulación, o basados en sensores inerciales como acelerómetros y giróscopos (Gómez et al.;2018).

### **Redes de sensores inalámbricos para análisis movimiento**

Estas redes son grupos de múltiples sensores pequeños, dispersos en un determinado espacio con un fin específico y que transmiten señales a cortas distancias, estos sensores se encargan de la captura de datos, dentro de este grupo de sensores se encuentran los nodo o principales denominados “sink”, estos son los que reciben la información de los otros sensores y permiten determinar la ruta para la transmisión de esta hacia la puerta de enlace (Gateway) y luego al servidor principal de procesamiento (Camapaña B. & Londoño P., 2013, pp 87).



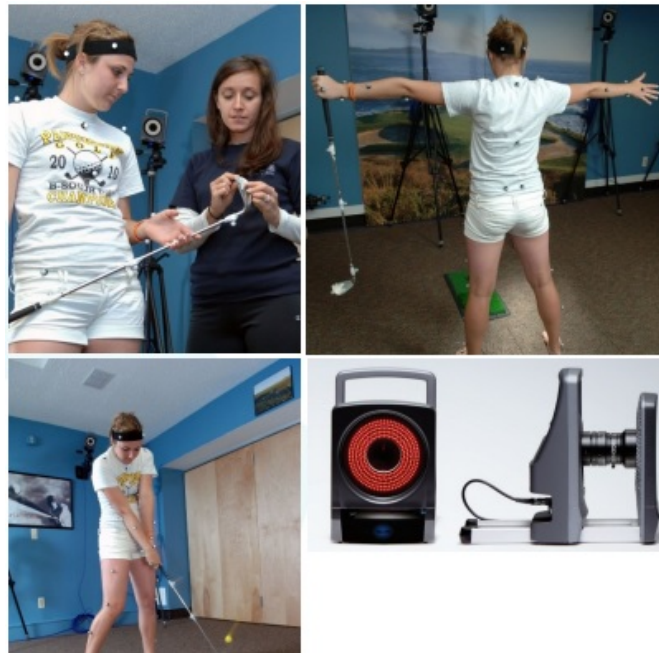


Figure 7.6: Sistemas ópticos de captura movimiento .

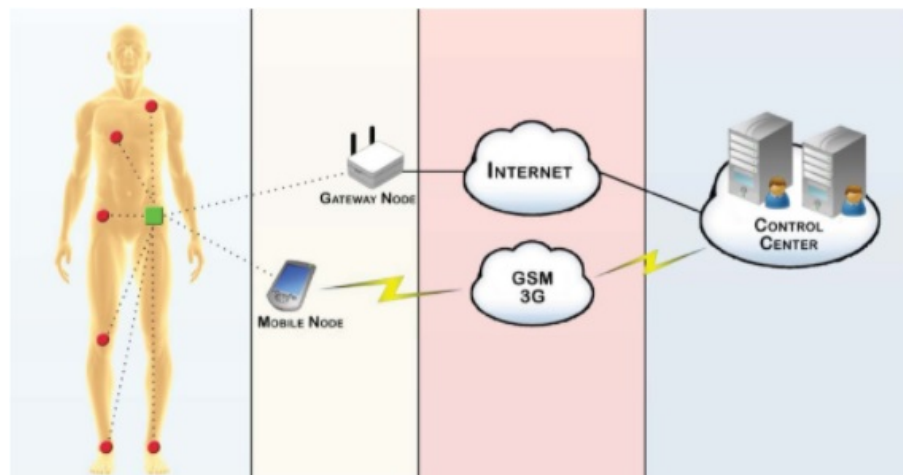


Figure 7.7: Imagen Redes de sensores inalámbrico

## 7.2.2 Mediciones por Pruebas físicas

A medida que avanza la ciencia y la tecnología se van conociendo mas herramientas que permiten la evaluación de las diferentes capacidades físicas, sin embargo, estas herramientas sofisticadas no son aún de libre acceso, por lo que se debe recurrir a metodos moderados que aunque no ofrecen los mismos resultados de un laboratorio permiten una aproximación a la evaluación de una capacidad específica, estas pruebas son las que convencionalmente se usan para realizar diagnósticos iniciales y llevar un control de la condición física de una

persona, algunas de las pruebas mas conocidas son:

### **La prueba de Romberg y Moritz Heinrich Romberg**

Es una prueba que por lo general se utiliza a nivel de consultorio la cual tiene como objetivo la búsqueda de ataxia sensitiva como la causa sindrómica en pacientes que presentan desequilibrio o dificultad para la marcha(Cuauhtémoc et a.;2014). Moritz Heinrich Romberg, quien fue un médico judío de Berlín y que publicó su libro de texto clásico acerca de las enfermedades neurologicas entre 1840 y 1846, en donde empieza a hablar sobre el control postural y sus desequilibrios, surge tambien en ediciones posteriores el signo de Romberg que valora la integridad funcional de toda la vía propioceptiva.

Para la ejecución de esta prueba se le pide al participante o paciente ubicarse de pie con los pies juntos, los brazos sueltos en los costados y los ojos abiertos, luego se pide al sujeto cerrar los ojos. Durante la prueba se observa cualquier pérdida de balance y se compara con la que presentó con los ojos abiertos y cerrados, también son evaluados los grados de oscilación y la dirección de la articulación de las caderas, rodillas y en general del cuerpo enteroa(Cuauhtémoc et a.;2014).

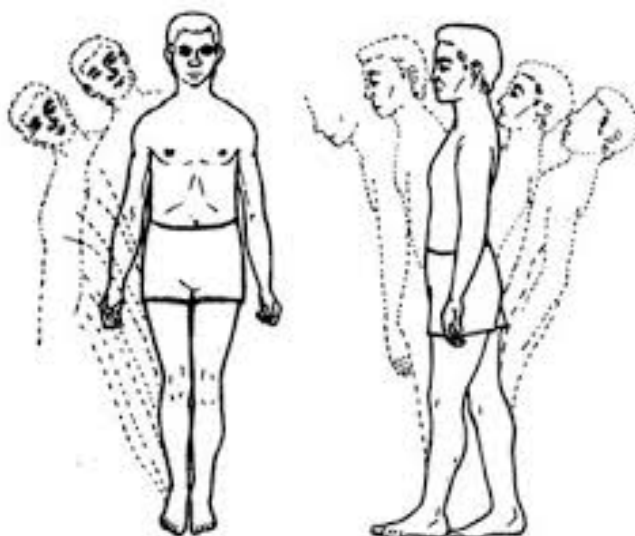


Figure 7.8: Prueba de Romberg

### **Test específico para el equilibrio dinámico, Körper Koordinations Test für Kinder (KTK)**

Es una prueba de coordinación corporal para niños, la cual permite identificar las capacidades individuales de integración sensorio–motoras. Para su realización son necesarias tres barras de equilibrio de 6, 4.5 y 3 cm de ancho cada una, 3 cm de altura y 3m de largo, así como un formato de registro. La prueba se realiza por tres intentos solicitando al participante en cada uno de los intentos debe caminar por encima de la barra, primero hacia adelante y luego de regreso hacia atrás (de espalda) y contar el número de pasos realizados en los tres intentos. Se cuentan los pasos realizados sin caer y hasta un máximo de ocho pasos en cada intento (Bustamante, Seabra, Rui & Maia, 2008; Machado, Reis, Ribeiro da Luz, Braz, Calegari & Irineu, 2018. Una de las ventajas de esta prueba es su fácil realización, es económica, no utiliza mucho equipo y no requiere de gran espacio. Desventajas: las manifestaciones en los sujetos durante el test, son susceptibles a la interpretación /percepción del evaluador; el ambiente externo que pueden influir (promover distracciones) tanto en el desempeño del participante o del evaluador (Villalobos-Samaniego et al., 19, 794).



Figure 7.9: Imagen test de equilibrio dinámico .

### **Single Leg Stance**

Dentro de los instrumentos de medición observacional, también encontramos la prueba de Balance en una sola pierna, SLS por sus siglas en inglés “Single Leg Stance”, se utiliza para evaluar la postura estática y el control del equilibrio (Whitney, 2013). Esta prueba se lleva a cabo sin zapatos, sobre una pierna, con los ojos cerrados, colocando los brazos sobre el pecho

o la cadera manteniendo esta posición el mayor tiempo posible, la prueba finaliza cuando se pierde el equilibrio, el pie que no estaba en contacto con el suelo cae o toca la otra pierna.

### 7.3 Identificación de los niveles de actividad física

Con el paso del tiempo la importancia de la actividad física en el ámbito de la promoción y la prevención de la salud ha ido en aumento, esto debido al aumento de casos de enfermedades a causa del sedentarismo y malos hábitos de vida, esta situación es una problemática que preocupa a nivel mundial ya que en muchas partes se ha convertido en un problema de salud pública, lo que generando costes de más a los diferentes gobiernos, por lo anterior se hace necesario reconocer los niveles de actividad física de la población.

Existen diversas herramientas como cuestionarios de participación que permiten estratificar los niveles de actividad física de un sujeto, uno de estos es el **Cuestionario Internacional de Actividad Física (IPAQ)** que actualmente es el más utilizado a nivel mundial. Este cuestionario cuenta con dos versiones, una larga que consta de 31 preguntas y su versión corta que se reduce a 9 preguntas, El objetivo del formulario es clasificar la actividad física en cuatro niveles: vigorosa, moderada, leve y tiempo que el sujeto pasa sentado; todas las preguntas se hacen en relación a los últimos siete días anteriores, permitiendo una clasificación de acuerdo a lo que una persona realiza en una semana común. Es necesario tener en cuenta que para su correcta aplicación debe tenerse en cuenta las instrucciones del mismo (Lee, Macfarlane, Lam, & Stewart, 2011).

## ***Metodología***

### **8.1 Tipo y Diseño de la investigación**

La presente investigación es de tipo experimental cuantitativo, en donde se plantea la evaluación del balance y el equilibrio, realizando un procesamiento de señales que se analizan en el dominio del tiempo y la frecuencia, utilizando el programa Kinovea y Matlab.

### **8.2 Proceso de revisión bibliográfica**

Se llevo a cabo una revisión de la literatura para aportar conceptos a este estudio , con las palabras clave: Evaluación y/o medición de la postura , equilibrio , balance , posturografía, test de equilibrio y balance , actividad física. La búsqueda se realizó en bases de datos electrónicas como Elsevier, PubMed, ProQuest y trabajos de grado a fines a las ciencias de la salud, la actividad física y el deporte.

### **8.3 Diseño de la propuesta de evaluación**

Se propone evaluar las señales registradas del movimiento del tronco según su desplazamiento (espacial) , duración (temporal) y oscilación (frecuencia), A continuación, se hace una descripción del test utilizado, proceso de captura de datos y procesamiento de la información

#### **8.3.1 Test de Evaluación: One Leg Balance Test**

El evaluado deberá cerrar sus ojos, flexionar una de sus dos rodillas , los brazos deberán ubicarse a los costados del tronco, deberá mantener el equilibrio en posición unipodal el mayor tiempo posible , la prueba finaliza cuando la pierna que estaba elevada toca el suelo o cualquier otra superficie de contacto; cada sujeto realizará la prueba 3 intentos bilateralmente, además

este sera grabado durante todo el test para el analisis posterior de los datos.

Para la ejecución de la prueba el sujeto estará de pie frente a la cámara, descalzo, deberá flexionar una de sus piernas y cerrar los ojos, manteniendo esta posición por el mayor tiempo que le sea posible, la prueba finalizará cuando el participante pierda por completo el equilibrio, abra sus ojos, toque el suelo o cualquier otra superficie con la pierna que inicialmente tenia flexionada. La prueba se llevará a cabo bilateralmente (pierna derecha y pierna izquierda) por tres intentos por cada lado descansando 1 minuto entre cada intento.

### 8.3.2 Proceso de Captura de Videos

Para la realización de la prueba de equilibrio One Leg Balance Test se solicita al participante que tengan ropa ajustada de un color que preferiblemente contraste con el color del fondo del espacio que se dispondrá para la realización de la misma (ejemplo: fondo blanco , ropa negra), que cuente con dispositivo de video y un espacio adecuado(seguro). Por último, se indica cómo generar un pequeño marcador de un color que contraste con la ropa que se lleva puesta, este será un circulo de aproximadamente 4 a 5 cm, de papel o cualquier material practico que se pueda pegar a la ropa, este se ubicara en medio del pecho (cuerpo del esternón) que permite seguir la trayectoria durante la prueba. El dispositivo con el que se realizara la grabación de la prueba se ubicara a una distancia de dos metros del sujeto, permitiendo que la imagen quede centrada, también se deberá corroborar que el dispositivo quede inmóvil evitando así movimientos durante la grabación.

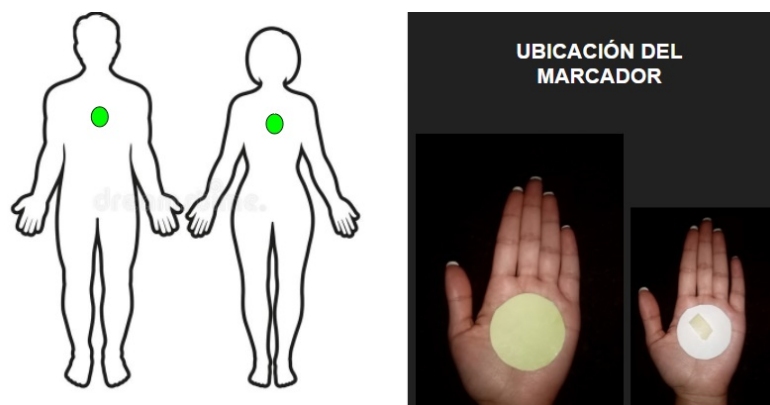


Figure 8.1: Imagen marcador de trayectoria.

## Proceso de Marcación de trayectorias (kinovea)

Para el análisis de los datos inicialmente se trasladaron los archivos de video al programa Kinovea en donde se realizó la normalización de medidas de acuerdo a la estatura de cada participante, luego haciendo uso del marcador ubicado sobre el pecho se ubica un marcador de posición que permite seguir la trayectoria durante toda la prueba arrojando una serie de datos en para exportar en una hoja de Excel para su posterior análisis.

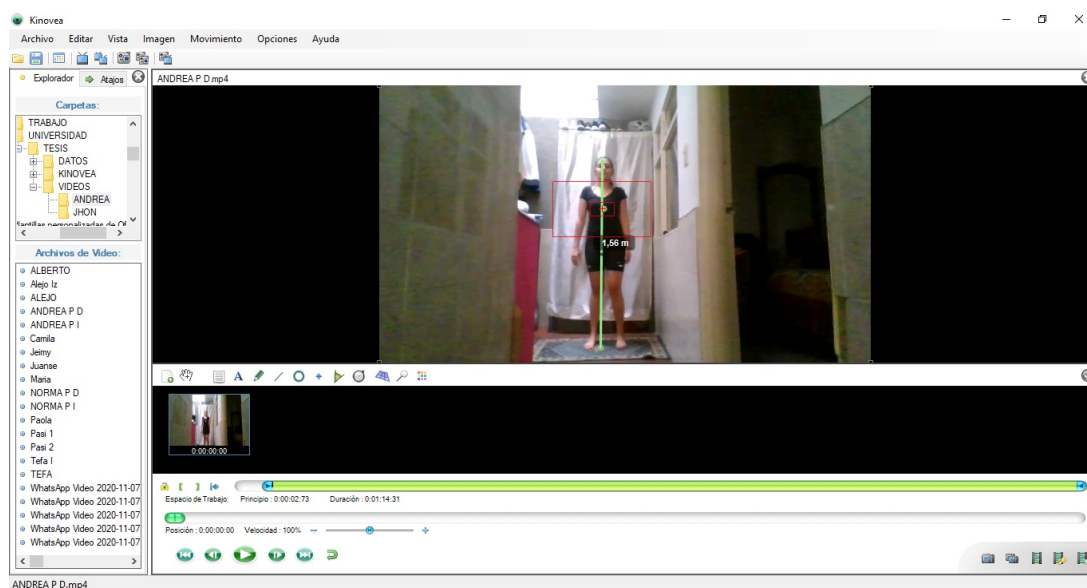


Figure 8.2: Proceso de marcación de datos en Kinovea.

### 8.3.3 Procesamiento de los datos

#### Agrupamiento de los Datos

Los datos se organizaron de manera individual segmentando pierna derecha e izquierda, también se realizó una normalización de los datos en relación con la altura del marcador y la altura total de la persona, calibrando las mediciones de Kinovea en metros.

Con los datos recolectados por medio del Cuestionario IPAQ se logró clasificar los participantes según su nivel de actividad física, encontrando así 3 grupos: Leve, Moderada y Vigorosa; esto permitió segmentar la población para lograr comparar entre grupos los resultados encontrados.

### **Análisis Espacial**

El análisis espacial, se encarga de estudiar de manera aislada los diferentes componentes del espacio (planos) y cómo y qué tanto cambian de posición las estructuras al interior de ellos, mediante herramientas que permiten medir el desplazamiento y la variación de posición (Soto et al.; 2005).

Inicialmente se toman las graficas arrojadas por la plataforma Kinovea, las cuales son coordenadas del movimiento en X, Y y el tiempo transcurrido por cada cuadro por segundo de lo registrado videográficamente, para poder elaborar graficas donde se plasmen los datos para su posterior análisis, fue necesario determinar el Punto 0, este se logra obtener tomando la primera coordenada que nos arroja en X, a este valor se debe restar la primera coordenada que nos arroja en Y, para el resto de los datos el proceso será similar; para cada coordenada arrojada en X se restará el dato de la primera coordenada que nos arroja en Y. Es importante tener en cuenta que este proceso se debe realizar por cada pierna (derecha e izquierda) separadamente.

### **Análisis Temporal**

Posterior a la prueba y el procesamiento de los datos obtenidos con esta, es posible determinar el tiempo de ejecución de la misma y el tiempo de caída del sujeto, lo cual es posible evidenciar por medio de las oscilaciones del marcador ubicado sobre el esternón; estos datos permitirán realizar una comparación entre los miembros de un mismo grupo y de estos mismos con los otros grupos.

### **Análisis de la Frecuencia**

Para comprender el funcionamiento del dominio de la frecuencia es necesario mencionar que esta se da al descomponer una señal compleja en la suma de señales mucho más simples. Este proceso se lleva a cabo diariamente en nuestro organismo, cuando escuchamos algo, inicialmente el oído descompone esas señales auditivas por medio del caracol, en frecuencias básicas y a partir de esto se elaboran señales que llegan al cerebro para su procesamiento final. (Bobadilla et al., 1999).

Para mayor comprensión de este tema, la imagen 8.3 servirá como apoyo didáctico. La señal en el dominio del tiempo (negra) se puede entender como la señal compleja o inicial que puede ser descompuesta en 3 señales de diferente amplitud y frecuencia, las cuales se



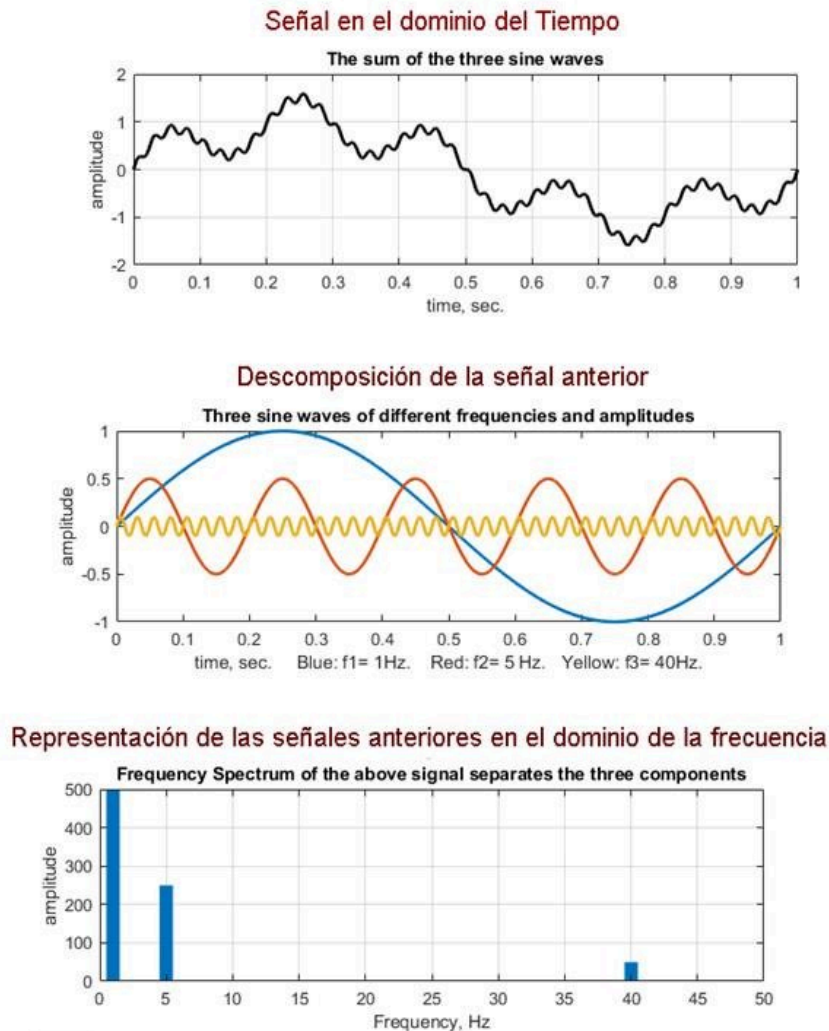


Figure 8.3: Representación de una señal en el dominio del tiempo y de la frecuencia

entienden como señales básicas o fundamentales (representadas por los colores amarillo, azul y rojo), estas señales en el campo de la frecuencia están representadas por 3 barras, en donde la altura de la barra corresponde a la potencia o amplitud y su ubicación en el eje x corresponde a la frecuencia de la señal básica expresada en Hz. La suma de las tres señales expresadas en el dominio de la frecuencia da como resultado la señal compleja inicial

Las fluctuaciones que genera el cuerpo no son aleatorias, están estrechamente relacionadas con los sistemas del organismo que contribuyen al equilibrio: 1. Visual, 2. Vestibular, 3. Cerebeloso y 4. Propioceptivo. Cada uno de estos sistemas contribuye a generar dicha perturbación, como lo plantea Lin, IS., Lai, et al. en 2019, en donde identifica que cada sistema actúa en un

rango de frecuencia determinada como se puede ver en la imagen 8.3

Dado lo anterior, las señales registradas por el movimiento se analizan inicialmente en el dominio del tiempo pero para poder identificar cómo aporta cada sistema en la ejecución de la prueba de equilibrio, se hace necesario trasladar estos datos al dominio de la frecuencia. Cabe aclarar, que las señales emitidas no son periódicas, estas no se repiten formando un ciclo, por el contrario, en cada momento o instante del tiempo se tiene una frecuencia diferente, es esto lo que nos permite identificar en cada sujeto cual sistema está contribuyendo en mayor grado para mantener el equilibrio.

Las gráficas obtenidas desde Kinovea permiten conocer con que frecuencia oscila un punto en el espacio, en el caso de este estudio, el punto es el marcador ubicado sobre el cuerpo del esternón de cada sujeto evaluado; al determinar a cuantos hertz oscila ese punto, se puede determinar el sistema de balance que predomina en cada sujeto.

## 8.4 Población y Muestra

La muestra del presente estudio es a conveniencia, inicialmente se contactan personas a las cuales se les plantea el objetivo del estudio, en el momento de mostrar interés se solicita firmar un consentimiento informado (Anexo 2) Que explica el proceso de captura de datos, los posibles riesgos y el manejo de datos con fines académicos). Inicialmente se solicita a los participantes llenar dos formularios, el primero para la recolección de datos generales y el segundo para identificar los niveles de actividad física de los participantes, para esto se aplica el cuestionario IPAQ, versión corta (Anexo 3). Ambos cuestionarios se plasmaron por formularios digitales para mayor practicidad tanto para los participantes como para la posterior recolección de datos.

### 8.4.1 Caracterización de la muestra

Para la elaboración de esta práctica, participaron 15 mujeres y 10 hombres, con edades entre los 15 a los 60 años, siendo esta una muestra ampliamente variada, de diversas ocupaciones. Por medio del cuestionario IPAQ, es posible segmentar los participantes en 3 grupos de acuerdo a su nivel de actividad física:

Grupo#1 : **BAJO**

En este grupo se ubican la persona que:

- No realiza ninguna actividad física.

- La actividad física que realiza no es suficiente para las categorías 2 o 3.

Grupo #2 : **MODERADO**

En este grupo se ubican la persona que realizan:

- 3 o más días de actividad física vigorosa durante al menos 25 minutos por día.
- 5 o más días de actividad física moderada y/o caminar al menos 30 minutos por día.
- 5 o más días de una combinación de caminar y/o actividad de intensidad moderada y/o vigorosa, alcanzando un gasto energético de al menos 600 METs por minuto y por semana.

Grupo #3 : **ALTO**

En este grupo se ubican las personas que realizan:

- Realiza actividad vigorosa al menos 3 días por semana alcanzando un gasto energético de 1500 METs por minuto y semana.
- 7 o más días de una combinación de caminar y/o actividad de intensidad moderada y/o vigorosa, alcanzando un gasto energético de al menos 3000 METs por minuto y por semana.

## **Resultados**

### **9.1 Resultados de evaluación espacial del balance**

#### **9.1.1 Miembro inferior derecho**

Para los sujetos con un nivel de actividad física **leve** (figura 9.11.a) el desplazamiento lateral que se evidencio presenta un comportamiento similar, durante los primeros 40 segundos de la ejecución de la prueba se presenta un gran rango de oscilaciones lo cual hace referencia a los movimientos que se realizan para conseguir la estabilidad, luego, se evidencia un lapso en que las oscilaciones son mas constantes hasta llegar al momento de perdida total del equilibrio y por consiguiente la finalizacion de la prueba. Para los sujetos con un nivel de actividad física **moderada**(figura 9.11.b), se evidencio un comportamiento con bajo desplazamiento, desde el inicio hasta el primer minuto, luego el aumento en la amplitud de las oscilaciones, traducidas en los intentos por mantener generan la perdida total del equilibrio. Finalmente, para los sujetos con un nivel de actividad física **intensa** (figura 9.11.c) se evidencia una alternancia de amplitud con grandes picos de desplazamiento lateral durante toda la ejecución de la prueba, estos movimientos permiten al sujeto continuar con la prueba ya que no se ha perdido el equilibrio en su totalidad, se evidencias movimientos alternos en ambos hemicuerpos durante toda la ejecución de la prueba.

#### **9.1.2 Miembro inferior izquierdo**

En los sujetos con un nivel de actividad física **leve** las oscilaciones son ampliamente variadas en cada sujeto, presentando picos de oscilaciones comparadas con las que se evidenciaron sobre el miembro inferior derecho en donde estas fueron un poco mas constantes; es evidente la dificultad para mantener el equilibrio de manera costante y la amplitud en el desplazamiento en el momento en que se finaliza la prueba. Para la mayoría de sujetos con un nivel de activi-

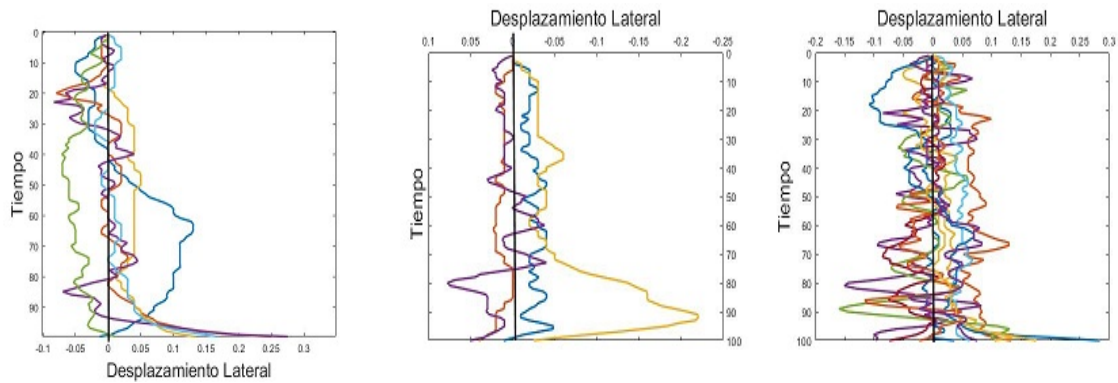


Figure 9.1: Descripción

dad física **moderada**, se observa una constante oscilacion de baja amplitud de predominancia derecha, a excepcion de un sujeto que si presento cambios y picos altos de desplazamientos laterales en ambos hemisferios. Para los sujetos con un nivel de actividad física **intensa** el comportamiento es similar al del grupo moderado con la diferencia en que los picos de desplazamientos son mayores, de predominio unilateral, este comportamiento concuerda con lo arrojado en las graficas sobre miembro inferior derecho, en donde se evidencia mayor cantidad de intentos por mantener el equilibrio lo cual podria traducirse en una mayor estabilidad sobre el cuello de pie.

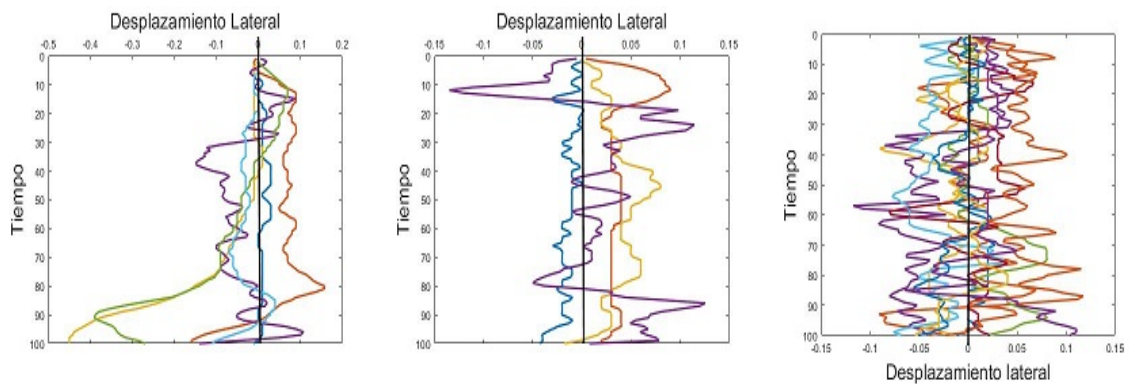


Figure 9.2: Descripción

### 9.1.3 Analisis numerico espacial

Las gráficas en Boxplots, permiten comparar el nivel de desplazamiento por grupo a partir del punto 0, además permite visualizar la media de cada grupo (línea roja), donde se agrupan los

datos y la desviación estandar.

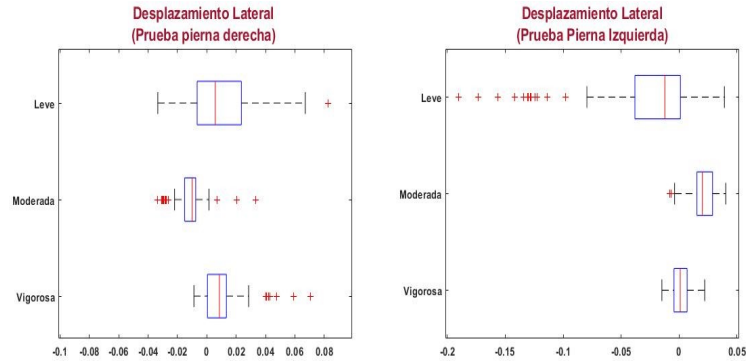


Figure 9.3: Descripción

### Análisis numérico Desplazamiento Lateral Miembro inferior derecho

Para el grupo de actividad física **leve**, se logra evidenciar un cuartil mucho mas amplio, en donde se dan desplazamientos a partir del punto cero muy grandes a la derecha; este grupo presenta la mayor variación en los resultados en comparación con los demás grupos. Las personas que realizan actividad física **moderada** presentaron desplazamiento en mayor medida, a partir del punto cero en direccion a la izquierda, se logra visualizar una relación más cercana entre los datos ya que el desplazamiento se da en coordenadas próximas en su mayoría al punto 0. En el grupo de actividad **Vigorosa** el desplazamiento se da en mayor medida, a partir del punto cero en direccion a la derecha ,con datos dispersos en esta misma dirección, siendo de menor medida los cuartiles de este grupo.

### Análisis numérico Desplazamiento Lateral Miembro inferior derecho

Para el grupo de actividad física **leve** se identifica una amplia variación en los datos ,en donde se dan desplazamientos a partir del punto cero muy grandes en dirección a la izquierda donde tambien se encuentran en gran medida los datos dispersos por fuera de la media del grupo. Los sujetos con actividad física **moderada** muestran desplazamientos hacia la derecha con algunos datos dispersos en direccion contraria ( izquierda). Finalmente, para el grupo con actividad física **vigorosa** la gráfica evidencia un desplazamiento no muy variado , en donde los cuartiles son similares con desplazamientos en ambas direcciones pero no muy alejadas en distancia al punto cero; lo cual indica un equilibrio mas constante durante la prueba.

## 9.2 Resultados de evaluación temporal del balance

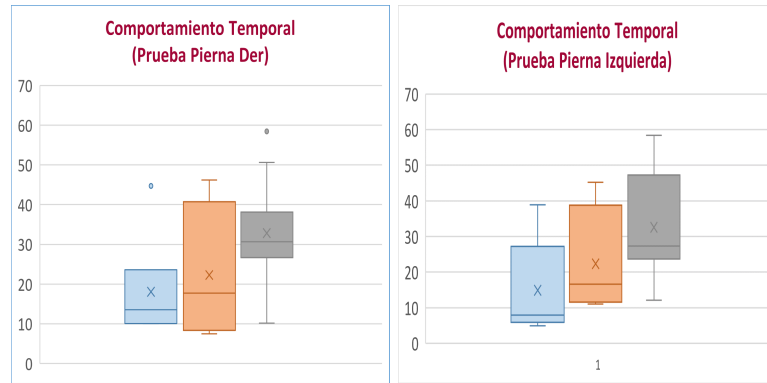


Figure 9.4: Comparación de la Duración (seg) de la prueba efectuada, sobre pierna derecha e izuierda por grupos.

### 9.2.1 Miembro inferior derecho

El comportamiento temporal de los grupos se logra evidenciar a través de la Figura ?? en donde de manera ascendente podemos evidenciar el tiempo que se mantiene en equilibrio o en una búsqueda del mismo para evitar la finalización de la prueba, de cada grupo; así, es evidente que el grupo leve dura menos tiempo en comparación con los otros dos grupos mientras que el grupo de actividad física vigorosa tiene los resultados mayores en cuanto a tiempo de ejecución de la prueba, lo que se traduce en que este grupo de personas (vigorosas) aguanta por mayor tiempo la posición de equilibrio sobre la pierna derecha.

### 9.2.2 Miembro inferior izquierdo

Analizando los resultados arrojados para el comportamiento Temporal sobre miembro izquierdo, es similar en cuanto al comportamiento del miembro derecho en donde se evidencia de igual modo que el grupo leve es quien más rápido finaliza la prueba y el grupo vigoroso son los resultados más amplios en tiempo de prueba; sin embargo se evidencia un comportamiento especial para este miembro izquierdo, comparando los tiempo de duración de la prueba sobre el miembro inferior derecho que son mas amplios para todos los grupos en comparación con la pierna izquierda, lo que quiere decir que en general para todos los grupos, es sobre la pierna izquierda más difícil mantener el equilibrio durante la prueba.

### 9.3 Analisis en el dominio del tiempo y la frecuencia

Para comprender con mayor facilidad el analisis de las graficas , se toma un ejemplo de cada grupo.

Para el grupo de actividad física leve 9.5 se evidencian frecuencias entre 0 y 0,5 lo que significa que el equilibrio genera mayor cantidad de perturbaciones en el sistema visual y vestibular, lo que indica que no esta generando mucha activación (no contribuyen tanto )del sistema Somatosensorial y Propioceptivo.

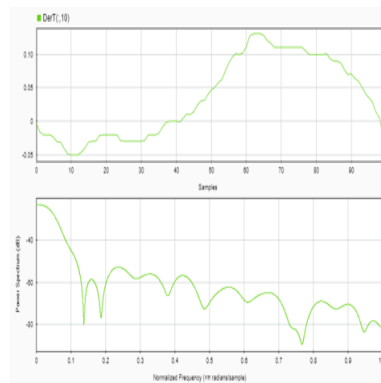


Figure 9.5: Analisis en tiempo y frecuencia grupo de actividad leve (curva media del grupo)

Moderada Para este grupo 9.6 se, se evidencia en mayor medida que los sistemas que mas contribuyen son el visual y vestibular , el sistema muscular aunque contribuye menos , presenta un poco mas de homogeniedad y es mas constante en su activación en comparación con el de actividad física leve.

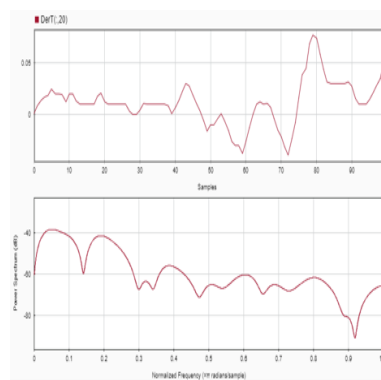


Figure 9.6: Analisis en tiempo y frecuencia grupo de actividad moderada (curva media del grupo)



## Vigorosa

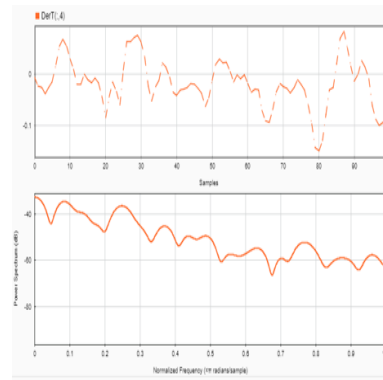


Figure 9.7: Análisis en tiempo y frecuencia grupo de actividad Vigorosa (curva media del grupo)

Para el grupo con actividad física vigorosa 9.7 , sucede algo mas constante respecto a los demás grupos, se evidencia la activación de todos los sistemas de manera mas constante durante la ejecución de la prueba arrojando curvas mas cercanas a la periodicidad sin llegar a cumplir ciclos.

Finalmente en la imagen donde se puede apreciar las gráficas de los tres grupos 9.8 , es mas evidentela oscilación que presentan el grupo leve con respecto al moderado y vigoros , pudiendo observar en las curvas naranjas ( grupo vigoroso)un comportamiento mas constante en donde intervienen la mayoría de los sistemas del equilibrio.

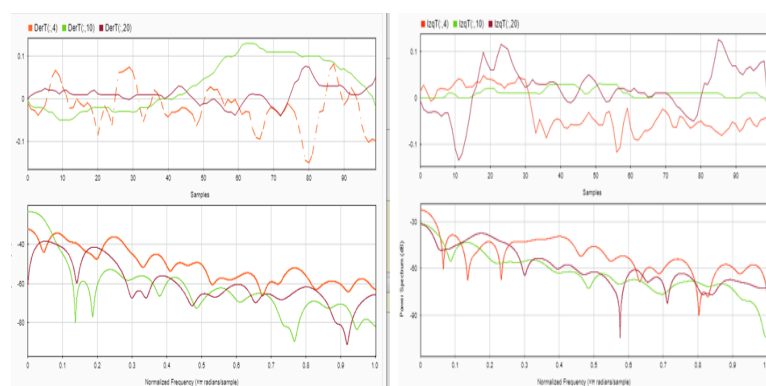


Figure 9.8: Análisis en tiempo y frecuencia comparación por grupos

### 9.3.1 Miembro inferior izquierdo

#### Leve

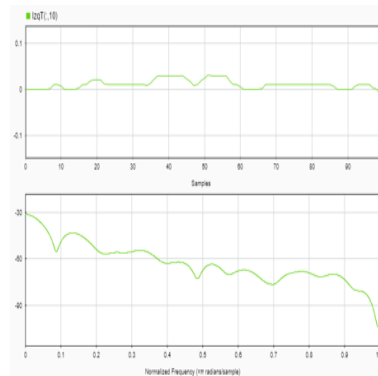


Figure 9.9: Análisis en tiempo y frecuencia grupo de actividad leve (curva media del grupo)

Para el analisis del miembro inferior izquierdo en el grupo de actividad física leve9.9 , se evidencia mayor estabilidad en las oscilaciones donde la contribución de información se da en mayor medida por medio del sistema visual y posteriormente el sistemas vestibular.

Moderada

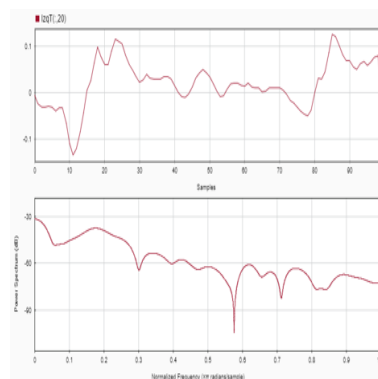


Figure 9.10: Análisis en tiempo y frecuencia grupo de actividad leve (curva media del grupo)

El sujeto analizado en el grupo de actividad física moderada 9.10 , arroja resultados con altas variaciones en la perturbación sobre el sistemaa visual principalmente y con poca participacion del sistema somatosensorial.

Vigorosa

Las gráficas de los resultados del sujeto de actividad física vigorosa?? ,se permite evidenciar fluctuaciones de mayor activacion en medidas mas similares para los sitemas visuales y vestibulares en compración con los otros grupos con una pequeña pero existente participación del sistema propioceptivo.

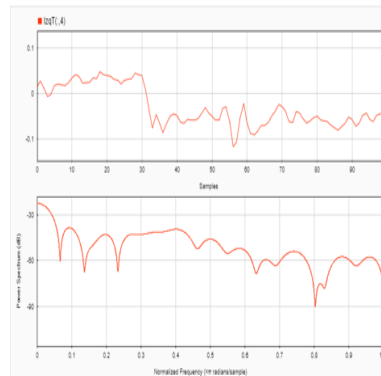


Figure 9.11: Descripción

Contrario a lo evidenciado en las gráficas de la evaluación sobre el miembro inferior derecho , en la gráfica 9.12 ,donde es posible apreciar las oscilaciones de los tres grupos sobre el mienbro inferior izquierdo , para esta extremidad se reflejan datos muy diferentes en todos los grupos, no existe la misma consistencia de oscilaciones por el contrario estas varían mucho , entendiéndose que sobre esta extremidad se complica la estabilidad corporal , sin embargo sigue siendo evidente como en el grupo vigoroso (línea naranja) los sistemas contribuyen también de manera más uniforme en comparación de los otros grupos.

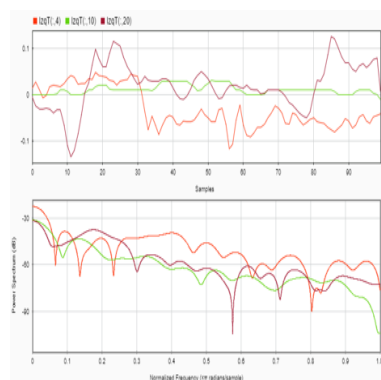


Figure 9.12: Análisis en tiempo y frecuencia comparación por grupos

## ***Discusión***

En un estudio realizado por Błaszczyk et al., (2020) se evaluó el control de la estabilidad postural en un grupo de 20 adolescentes femeninas por medio del cambio de la posición en bipedestación a la posición sobre una pierna (Single Test Stance) , analizando las trayectorias del centro de presión realizando el test con ojos abiertos y cerrados, descalzas sobre una plataforma de presión plantar, para este estudio se analizo el cambio en el control del punto de ajuste inicial hasta finalizar la prueba , los resultados indican que existe un aumento en el balanceo casi cuatro veces mayor en la prueba con ojos cerrados en comparación con la prueba con ojos abiertos; aunque nuestro estudio no haya analizado la prueba en dos condiciones ( ojos cerrados y abiertos) los resultados son similares en cuanto a la inestabilidad que se genera por la ausencia del apoyo visual , evidenciando esto que por el medio visual reclutamos información que nos permite mantener el equilibrio.

Por otro lado, Kozinc et al., (2020) evaluaron las características del balanceo corporal en la posición sobre una sola pierna descalzos con ojos abiertos, en un grupo de bailarinas de ballet y un grupo de adultos sanos, sobre una plataforma de fuerza en donde se analizaron la velocidad y amplitud del centro de presión; los resultados arrojaron una capacidad de equilibrio superior en los deportistas, evidenciando un comportamiento reducido en el balanceo corporal en comparación con el grupo de adultos jóvenes; estos resultados dejan en evidencia que existe algunas características diferenciales en cuanto al control del balance corporal en poblaciones atléticas, para este caso en específico , de acuerdo a lo mencionado por Golomer et al.(2000), estos deportistas se fundamentan en el sistema propioceptivo para la ubicación espacial y el control de la postura en comparación con la población en general. Lo anterior se ve plenamente relacionado con los resultados obtenidos en nuestro estudio, ya que también es evidente que los sujetos del grupo de actividad física vigorosa poseen un control mayor de la postura en comparación con las personas de actividad física moderada y leve.

Otro estudio similar , llevado a cabo por Matsuda et al., (2008) , en donde se compararon

las características del balance postural en deportistas de diferentes modalidades como : Futbol , Baloncesto , Natacion y no atletas, atletas, por medio de un estabilometro, alli se analizaron las oscilaciones en diferentes direcciones y sus velocidades. Los resultados indican que los futbolistas tienen menor balanceo en comparacion con el resto de sujetos evaluados, lo cual indica que estos deportistas poseen una capacidad mejor desarrolladas para mantener el equilibrio sobre una pierna.

## **Conclusiones**

Mediante las conclusiones se indica las ideas fundamentales a las que se ha llegado a través del trabajo o estudio realizado. Se comienza recordando el objetivo y a continuación se identifican las principales variables que, según lo investigado, estarían afectando al sector en estudio. Las conclusiones deben estar claramente expresadas, estableciendo lo que se ha mostrado con el trabajo, qué limitaciones y ventajas existen luego de haberlo realizado. Además, debe indicarse cuál es la aplicación principal de los resultados y qué recomendaciones se pueden dar para trabajos posteriores sobre el tema.

1. Posterior a la revisión bibliográfica se puede concluir que los estudios que se han desarrollado hasta la fecha, han sido efectuados en laboratorios lo cual permite una alta fiabilidad en los resultados, sin embargo, la accesibilidad a estos se vuelve compleja limitandose a factores economicos o procesos elites.

2. Por otro lado , es importante resaltar que las mediciones de facil acceso tiene una amplia variabilidad en la evaluación del balance y equilibrio.

3. Actualmente son reconocidas distintas y variadas formas de cuantificar el balance y el equilibrio , como la propuesta de ste estudio, es factible cuantificarlo de diferentes formas : Analisis espacial , temporal y en el campo de la frecuencia.

4.Además del analisis cualitativo , es el analisis cualitativo permite disminuir la variabilidad y disminuir la subjetividad.

5. El analisis de datos por medio del dominio del tiempo y le frecuencia permiten evidenciar de manera mas precisa las oscilaciones con respecto al marcador (esternón) que al ser procesadas en frecuencia se puede comprender que sistemas contribuyen a la estabilidad postural.

6. En momentos en donde por medidas de bioseguridad se hace necesario el aislamiento , la creación de herramientas videográficas que permitan evaluar la postura , contribuye y facilita la continuación de procesos físicos y deportivos.

## ***Bibliografía***

- Bauer, C., Groger, I., Rupprecht, R., Tibesku, C., & Gasssmann, K. (2010). Reliability of static posturography in elderly persons. *Z Gerontol Geriatr*, 4(43), 245–248. NCBI.
- Cobb, S. C., Bazett-Jones, D. M., Joshi, M. N., Earl-Boehm, J. E., & James, R. C. (2014). The Relationship Among Foot Posture, Core and Lower Extremity Muscle Function, and Postural Stability. *Journal Of Athletic Trainig*, 2(49), 173–180. 10.4085/1062-6050-49.2.02.
- Camapaña B., S. E., & Londoño P., J. M. (2013, 6 6). Wireless sensor networks and related applications for collecting and analyzing biomedical signals. *Gerenc. Tecnol. Inform.*, 12(33), 85 - 99.
- CERDA L, JAIME, & VILLARROEL DEL P, LUIS. (2008). Evaluación de la concordancia inter-observador en investigación pediátrica: Coeficiente de Kappa. *Revista chilena de pediatría*, 79(1), 54-58. <https://dx.doi.org/10.4067/S0370-41062008000100008>
- Cuauhtémoc, G.-P., & Álvarez-Solís, G. A. (2014). The Romberg test and Moritz Heinrich Romberg. *Revista Mexicana de Neurociencia*, 15(1), 31-35.
- Gómez Echeverry, L. L., Jaramillo Henao, A. M., Ruiz Molina, M. A., Velásquez Restrepo, S. M., Páramo Velásquez, C. A., & Silva Bolívar, G. J. (2018, 05 20). Human motion capture and analysis systems: a systematic review. *PROSPECTIVA*, 16(2), 24 - 34.
- Gribble, P. A., Kelly, S. E., Refshauge, K. M., & Hiller, C. E. (2013). Interrater Reliability of the Star Excursion Balance Test. *Journal Of Athletic Training*, 48(5), 621–626. NCBI. 10.4085/1062-6050-48.3.03
- Han, J., Anson, J., Waddington, G., Adams, R., & Liu, Y. (2015, 10 25). The Role of Ankle Proprioception for Balance Control in relation to Sports Performance and Injury. *Biomed Res Int*. NCBI.
- Hrysomallis, C. (2012, 10 7). Balance Ability and Athletic Performance. *Sports Medicine* volume, (41), 221–232.
- Landis, J., & Koch, G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Bio-*

metrics, 33, 74 - 195. PubMed. 843571

Marco Sanjuán, F. J. (n.d.). Coeficiente de variación. Economipedia.

Nashner, L., & Peters, J. (1990). Dynamic posturography in the diagnosis and management of dizziness and balance disorders. *Neurologic clinics*, 8, 331-349.

Petrocci, K. E., & Cárdenas Sandoval, R. P. (2011, 11). Measurement of Postural Control Through Stabilometry- a Literature Review. *Revista Colombiana de Rehabilitación*, 10, 16-24.

Plandowska, M., Lichota, M., & Górniak, K. (2019). Postural stability of 5-year-old girls and boys with different body heights. *PloS one*, 14(12), e0227119.

Porto, C., Lemos, T., & Ferreira, A. S. (2020, 04 16). Reliability and robustness of optimization properties for stabilization of the upright stance as determined using posturography. *Journal of Biomechanics*, 103. Science Direct.

Rey, E. A., Pico, J. S., & Luengas, L. (2018, 7 22). PIPLAB baropodometric platform. *Universidad Distrital Francisco José de Caldas*, 15(2), 139-149.

Schmid, M., Conforto, S., Lopez, L., Renzi, P., & D'Alessio, T. (2005, 9 30). The development of postural strategies in children: a factorial design study. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 2, 29. NCBI.

Springer, B. A., Marin, R., Cyhan, T., Roberts, H., & Gill, N. w. (2007). Normative Values for the Unipedal Stance Test with Eyes Open and Closed. *Journal of Geriatric Physical Therapy*, 30(1), 8 - 15. PUBMED.

Universo Formulas. (n.d.). MEDIA CUADRÁTICA. Universo Formulas.

Verschueren, J., Tassignon, B., Pluym, B., Cutsem, J. V., Verhagen, E., & Meeusen, R. (2019). Bringing context to balance: development of a reactive balance test within the injury prevention and return to sport domain. *Archives of Physiotherapy*.

Villalobos-Samaniego, C., Rivera-Sosa, J. M., Ramos-Jimenez, A., Cervantes Borunda, M. S., Lopez-Alonzo, S. J., & Hernandez-Torres, R. P. (19, 6 5). Evaluation methods of static and dynamic balance in children aged 8 to 12 years old. *RETOS*, (37), 793-801.

García, A. F., Varela, A. S., & Pérez, S. S. (2015). ¿ Es posible reducir el tiempo de exploración en los estudios posturográficos?. *Acta Otorrinolaringológica Española*, 66(3), 154-158.

Shubert, Tiffany E. MPT, Doctorado Prescripción de ejercicio basada en evidencia para la prevención del equilibrio y las caídas: una revisión actual de la literatura, *Journal of Geriatric Physical Therapy*: julio / septiembre de 2011 - Volumen 34 - Número 3 - p 100-108

Clark, R. C., Saxion, C. E., Cameron, K. L., & Gerber, J. P. (2010). Associations between three clinical assessment tools for postural stability. *North American journal of sports physical therapy*:



NAJSPT, 5(3), 122.

Ferlinc A, Fabiani E, Velnar T, Gradisnik L. The Importance and Role of Proprioception in the Elderly: a Short Review. *Mater Sociomed.* 2019 Sep;31(3):219-221.

Lee, C. H., & Sun, T. L. (2018, 12 13). Evaluation of postural stability based on a force plate and inertial sensor during static balance measurements. *J Physiol Anthropol*, 37(1), 27. NCBI. 10.1186/s40101-018-0187-5

Laurence Z Rubenstein, Karen R Josephson. The epidemiology of falls and syncope. *Clin Geriatr Med: Falls and syncope in elderly patients* 2002; 18: 141-158.

H., Macfarlane, D. J., Lam, T. H., & Stewart, S. M. (2011). Validity of the International Physical Activity Questionnaire Short Form (IPAQ-SF): a systematic review. *The international journal of behavioral nutrition and physical activity*, 8, 115

Camapaña B., S. E., & Londoño P., J. M. (2013, 6 6). Wireless sensor networks and related applications for collecting and analyzing biomedical signals. *Gerenc. Tecnol. Inform.*, 12(33), 85 - 99. file:///C:/Users/USER/Downloads/Dialnet-EstudioDeRedesDeSensoresYAplicacionesOrientadasALa-4546834.pdf

Cuauhtémoc, G.-P., & Álvarez-Solís, G. A. (2014). The Romberg test and Moritz Heinrich Romberg. *Revista Mexicana de Neurociencia*, 15(1), 31-35. <https://www.medigraphic.com/pdfs/revmexneu/rmn-2014/rmn141e.pdf>

del Rosario, M. B., Redmond, S. J., & Lovell, N. H. (2015, 08 15). Tracking the Evolution of Smartphone Sensing for Monitoring Human Movement. *Sensors (Basel)*, 8, 18901–18933. PMC. 10.3390/s150818901

Wilhelmus, A. G. J., Sandberg, L., Ressaan, J., Diamantoglou, N., Johansson, E., & Rasmussen-Barr, E. (2018, 1 8). Reliability and validity of a novel Kinect-based software program for measuring posture, balance and side-bending. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 19(6). doi.org/10.1186/s12891-017-1927-0

Soto, Adriana & López, Lina. (2005). Análisis y síntesis en cartografía: Algunos Procedimientos.

Whitney, S. L. (27 de 06 de 2013). Shirley Ryan AbilityLab. Obtenido de Shirley Ryan AbilityLab: <https://www.sralab.org/rehabilitation-measures/single-leg-stance-or-one-legged-stance-test#:~:text=The%2>

Caña-Pino, A., Apolo-Arenas, M. D., Moral-Blanco, J., Álvaro-de Diego, J., & Fernández Gutiérrez, C. (2015). Valoración del equilibrio postural en bipedestación-sedestación en sujetos sanos mediante acelerometría. *Estudio piloto. Fisioterapia*, 37(6), 271–278. doi:10.1016/j.ft.2014.12.004

Bobadilla, J., Gómez, P., & Bernal, J. (1999). La transformada de Fourier. Una visión pedagógica. *Estudios de fonética experimental*, 41-74.

- Ortiz, G. P. (2020). Visión artificial y computación para análisis de movimiento: ampliando el alcance del laboratorio. EVENTOS PROFESIONAL EN ENTRENAMIENTO DEPORTIVO. <https://www.youtube.com>
- Janusz Wiesław Błaszczyk, Artur Fredyk, Paweł Mikołaj Błaszczyk, Transition from double-leg to single-leg stance in the assessment of postural stability, *Journal of Biomechanics*, Volume 110, 2020, 109982, ISSN 0021-9290, <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2020.109982>.
- Žiga Kozinc, Nejc Šarabon, Transient body sway characteristics during single-leg quiet stance in ballet dancers and young adults, *Journal of Biomechanics*, Volume 115, 2021, 110195, ISSN 0021-9290, <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2020.11019>.
- Golomer, E., & Dupui, P. (2000). Spectral analysis of adult dancers' sways: sex and interaction vision-proprioception. *International Journal of Neuroscience*, 105(1-4), 15-26.

## Anexos

### 13.1 Anexo1. Índice de Kappa

El coeficiente Kappa se refiere a la variación entre dos o más evaluadores encargados de medir el mismo grupo de participantes, este coeficiente puede arrojar valores entre -1 y +1, para comprender estos resultados cuando es más cercano a +1, significa que mayor es el grado de concordancia inter-observador, por otro lado, mientras más cercano a -1, esto quiere decir que es mayor el grado de discordancia inter-observador, si el valor obtenido es igual a 0, esto refleja que la concordancia observada es la que se espera a causa del azar (Cerde & Villarroel Del P., 2008).

La fórmula del coeficiente kappa puede expresarse mediante la siguiente fórmula:

$$K = \frac{(\sum \text{concordancias observadas}) - (\sum \text{concordancias atribuibles al azar})}{(\text{total de observaciones}) - (\sum \text{concordancias atribuibles al azar})}$$

En la Tabla 1 podemos comprender cómo se lleva a cabo el análisis de los resultados usando una la escala, en donde se expresa cualitativamente la fuerza de la concordancia.

<b>Coeficiente Kappa</b>	<b>Fuerza de la concordancia</b>
0,00	Pobre (Poor)
0,01 - 0,20	Leve (Slight)
0,21 - 0,40	Aceptable (Fair)
0,41 - 0,60	Moderada (Moderate)
0,61 - 0,80	Considerable (Substantial)

Figure 13.1: Tabla 1. Valoración del coeficiente Kappa (Landis & Koch, 1977).

## 13.2 Anexo 2. Consentimiento Informado



### CONSENTIMIENTO INFORMADO

Por favor lea con atención este documento, ya que le proporciona información sobre el estudio, es necesario que antes de decidir si participa o no, conozca y comprenda cada uno de los siguientes apartados, en caso de tener alguna duda siéntase con absoluta libertad para preguntar sobre cualquier aspecto.

Si decide participar, se solicitarán datos personales y datos antropométricos básicos (peso, talla), se le explicará la ejecución de una prueba de equilibrio que podrá realizar desde su lugar de residencia, la prueba la deberá ejecutar bilateralmente en 3 oportunidades para cada lado (con la pierna izquierda y derecha), al nivel de su pecho deberá ubicar un círculo de un color que contraste con la ropa que lleve puesta, podrá ubicarlo con ayuda de cinta, el círculo debe ser de una medida aproximada de 4 a 5 cm, durante la ejecución de la prueba usted será grabado con su previa autorización por una plataforma virtual (Meet).

#### *Riesgos*

Ninguno adicional al que puede tener una persona al realizar el test supervisado. El procedimiento anterior, NO es invasivo y no pone en riesgo su salud.

#### *Aspectos a Tener en cuenta*

- Su participación en este estudio es totalmente voluntaria.
- Ninguna persona involucrada en este estudio recibirá beneficios económicos como pago por su participación.
- Este estudio no tiene ningún interés económico por parte nuestra o de las instituciones colaboradoras.
- Los resultados de las pruebas y la información que usted nos da son de carácter absolutamente confidencial, de manera que solamente usted y el equipo de investigación tendrán acceso a estos datos. Cuando los resultados de este estudio sean publicados en revistas o congresos científicos, los nombres de todos aquellos que tomaron parte en el estudio serán omitidos.

Figure 13.2: Consentimiento Informado.



Yo \_\_\_\_\_, identificado con  
\_\_\_\_\_ N° \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ Consiento participar de  
manera voluntaria en el presente estudio. He leído y entendido la información registrada en  
este documento y al tener dudas, estas fueron aclaradas.

\_\_\_\_\_  
Firma del Participante

\_\_\_\_\_  
Nombre del Acompañante y/o Responsable  
c.c.

\_\_\_\_\_  
Firma del Acompañante y/o Responsable

\_\_\_\_\_  
Nombre del Investigador  
c.c.

\_\_\_\_\_  
Firma del Investigador

Fecha: \_\_\_\_\_

Figure 13.3: Consentimiento Informado.

### 13.3 Anexo 3. IPAQ, Versión Corta



# CUESTIONARIO INTERNACIONAL DE ACTIVIDAD FISICA

## IPAQ: FORMATO CORTO AUTOADMINISTRADO DE LOS ULTIMOS 7 DIAS PARA SER UTILIZADO CON ADULTOS (15- 69 años)

Las preguntas se referirán al tiempo que usted destinó a estar físicamente activo en los **últimos 7 días**. Por favor responda a cada pregunta aún si no se considera una persona activa. Por favor, piense acerca de las actividades que realiza en su trabajo, como parte de sus tareas en el hogar o en el jardín, moviéndose de un lugar a otro, o en su tiempo libre para la recreación, el ejercicio o el deporte.

Piense en todas las actividades **intensas** que usted realizó en los **últimos 7 días**. Las actividades físicas **intensas** se refieren a aquellas que implican un esfuerzo físico intenso y que lo hacen respirar mucho más intensamente que lo normal. Piense solo en aquellas actividades físicas que realizó durante por lo menos **10 minutos** seguidos.

1. Durante los **últimos 7 días**, ¿en cuántos realizó actividades físicas **intensas** tales como levantar pesos pesados, cavar, hacer ejercicios aeróbicos o andar rápido en bicicleta?

\_\_\_\_\_ días por semana

☐ Ninguna actividad física intensa



Vaya a la pregunta 3

2. Habitualmente, ¿cuánto tiempo en total dedicó a una actividad física **intensa** en uno de esos días?

\_\_\_\_\_ horas por día

\_\_\_\_\_ minutos por día

☐ No sabe/No está seguro

☐

Piense en todas las actividades **moderadas** que usted realizó en los **últimos 7 días**. Las actividades físicas **moderadas** son aquellas que requieren un esfuerzo físico moderado que lo hace respirar algo más intensamente que lo normal. Piense solo en aquellas actividades físicas que realizó durante por lo menos **10 minutos** seguidos.

3. Durante los **últimos 7 días**, ¿en cuántos días hizo actividades físicas **moderadas** como transportar pesos livianos, andar en bicicleta a velocidad regular o jugar dobles de tenis? **No** incluya caminar.

\_\_\_\_\_ días por semana

☐ Ninguna actividad física moderada



Vaya a la pregunta 5



Complejo Deportivo Universitario, Campus de Deportes S/N, C.P. 28071 - MÁLAGA, Tel.: 952 13 1670 Fax: 952 13 11 30

Figure 13.4: Imagen IPAQ Versión corta



4. Habitualmente, ¿cuánto tiempo en total dedicó a una actividad física **moderada** en uno de esos días?

\_\_\_\_\_ horas por día

\_\_\_\_\_ minutos por día

☐ No sabe/No está seguro

*Piense en el tiempo que usted dedicó a caminar en los últimos 7 días. Esto incluye caminar en el trabajo o en la casa, para trasladarse de un lugar a otro, o cualquier otra caminata que usted podría hacer solamente para la recreación, el deporte, el ejercicio o el ocio.*

5. Durante los últimos 7 días, ¿En cuántos caminó por lo menos 10 minutos seguidos?

\_\_\_\_\_ días por semana

☐ Ninguna caminata



*Vaya a la pregunta 7*

6. Habitualmente, ¿cuánto tiempo en total dedicó a caminar en uno de esos días?

\_\_\_\_\_ horas por día

\_\_\_\_\_ minutos por día

☐ No sabe/No está seguro

*La última pregunta es acerca del tiempo que pasó usted **sentado** durante los días hábiles de los últimos 7 días. Esto incluye el tiempo dedicado al trabajo, en la casa, en una clase, y durante el tiempo libre. Puede incluir el tiempo que pasó sentado ante un escritorio, visitando amigos, leyendo, viajando en ómnibus, o sentado o recostado mirando la televisión.*

7. Durante los últimos 7 días ¿cuánto tiempo pasó **sentado** durante un día hábil?

\_\_\_\_\_ horas por día

\_\_\_\_\_ minutos por día

☐ No sabe/No está seguro

Figure 13.5: Imagen IPAQ Versión corta